



Etude de filtres millimétriques accordables en technologie microfluidique

Daouda Lamine Diedhiou, Stéphane Pinon, Eric Rius, Cédric Quendo, Jean-François Favennec, Benjamin Potelon, Ali Boukabache, Anne Marie Gué, Norbert Fabre, Gaëtan Prigent, et al.

► To cite this version:

Daouda Lamine Diedhiou, Stéphane Pinon, Eric Rius, Cédric Quendo, Jean-François Favennec, et al.. Etude de filtres millimétriques accordables en technologie microfluidique. 17èmes Journées Nationales Microondes, May 2011, Brest, France. pp.3D-1. hal-00670823

HAL Id: hal-00670823

<https://hal.science/hal-00670823>

Submitted on 16 Feb 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude de filtres millimétriques accordables en technologie microfluidique

Daouda Lamine Diedhiou^{1,2}, Stéphane Pinon^{3,4}, Eric Rius^{1,2}, Cédric Quendo^{1,2}, Jean-François Favenec^{1,2}, Benjamin Potelon^{1,2}

Ali Boukabache^{3,4}, Anne-Marie Gue³, Norbert Fabre³, Gaëtan Prigent⁵, Véronique Conedera³, Jean-Yves Fourniols⁴

¹ Université Européenne de Bretagne, France

² Université de Brest ; CNRS, UMR 3192 Lab-STICC, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest cedex 3

³ CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

⁴ Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

⁵ Université de Toulouse ; INPT, UPS, ENSEEIHT, 2 rue Charles Camichel, BP 7122, F-31071 Toulouse Cedex 7, France

Daouda-lamine.diedhiou@univ-brest.fr

Résumé

Cet article présente les travaux initiés au Lab-STICC et au LAAS sur la conception de dispositifs passifs hyperfréquences accordables sur la base d'une approche microfluidique. L'idée est d'utiliser des microcanaux dans lesquels circulent des fluides. Ces fluides, diélectriques dans un premier temps, sont utilisés pour modifier la permittivité effective d'un substrat sur lequel est réalisée une structure planaire. La perturbation apportée par le fluide diélectrique va ainsi modifier la fréquence de travail du dispositif. En première approche, des stubs quart d'onde et des filtres passe-bande à stubs sont examinés.

1. Introduction

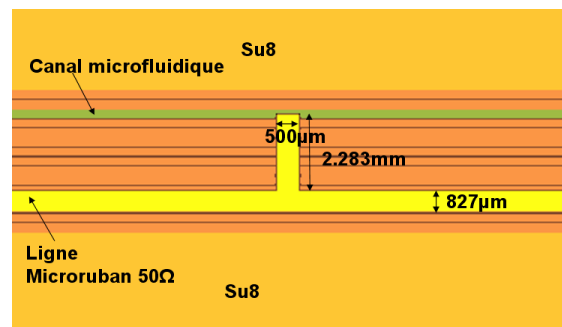
Les systèmes de communication nouvelle génération requièrent de plus en plus l'utilisation des dispositifs reconfigurables. De nombreux travaux ont été effectués sur les dispositifs agiles, en particulier sur les filtres passe bande. Il existe aujourd'hui différentes techniques permettant de rendre accordable ces filtres sur la base de MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) [1], [2], [3], de diodes PIN [4] ou varactor [5], [6] etc...

Dans cet article, nous décrivons les premiers tests entrepris dans le cadre des travaux menés sur l'accordabilité microfluidique. Cette étude est menée conjointement par le Lab-STICC à Brest et le LAAS à Toulouse dans le cadre du projet ANR RF-IDROFIL qui a démarré à la fin de l'année 2009. Il s'agit donc d'un travail prospectif ayant pour but à long terme de démontrer la viabilité d'une telle technique dans un contexte 3D. Dans ce papier nous présentons les premières idées relatives à la mise en œuvre de stubs et de filtres passe bande à stubs à partir d'une technologie SU-8 dans laquelle les microcanaux sont intégrés.

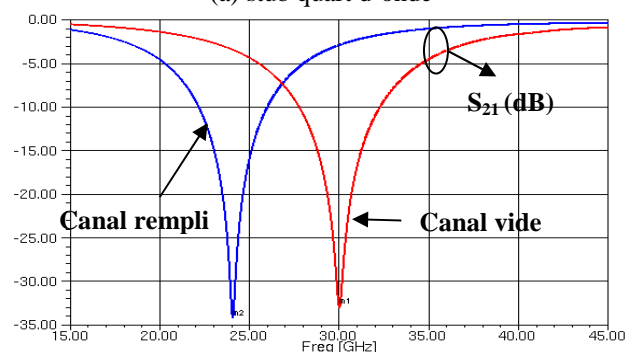
2. Accordabilité en fréquence centrale sur un stub

2.a. Stub coupe-bande $\lambda_g/4$

Il s'agit d'un stub microruban coupe-bande en dessous duquel on place un canal microfluidique (Fig.1a). Le stub est de longueur quart d'onde à la fréquence centrale. Le canal est positionné à l'extrémité de la ligne, laquelle est terminée par un circuit ouvert. Le champ électrique étant maximal à cet endroit, c'est dans cette configuration que la meilleure dynamique est obtenue. La structure dite de référence a été dimensionnée en considérant le canal vide.



(a) stub quart d'onde



(b) réponse coupe-bande du stub

Figure 1. Stub coupe-bande $\lambda_g/4$

Le décalage en fréquence est observé lorsque le canal est parcouru par le liquide. Ici nous considérons dans un premier temps de l'eau désionisée.

Le substrat SU-8, bien qu'il soit intéressant pour la réalisation des micro-canaux, présente néanmoins une mauvaise $\tan\delta$ (0,02). Pour corriger cela, nous évidons localement la résine de façon à substituer au matériau massif, un substrat structuré de type dentelle (Fig.2).

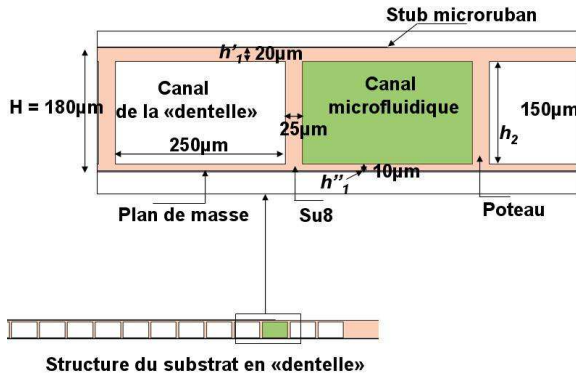


Figure 2. Coupe transversale du substrat évidé

Ceci permet de travailler dans un milieu dont les caractéristiques diélectriques sont proches de celles de l'air et ainsi de réduire les pertes diélectriques. La permittivité estimée est égale à 1,125. Cette valeur est obtenue à partir de formule (1) donnée dans [7].

$$\epsilon_{req} = \frac{\epsilon_{r1} * \epsilon_{r2} (h_1 + h_2)}{\epsilon_{r1} * h_2 + \epsilon_{r2} * h_1} \quad (1)$$

Où h_1 est la somme des épaisseurs des deux couches inférieure et supérieure de Su8, h_2 la hauteur des canaux, ϵ_{r1} et ϵ_{r2} sont respectivement la permittivité relative de la Su8 et de l'air.

Les dispositifs que nous étudions seront dimensionnés par rapport à cette valeur de permittivité. L'eau désionisée a une permittivité diélectrique ($\epsilon_r = 80$ à ≈ 1 GHz) nettement supérieure à celle de la résine Su8 ($\epsilon_r \approx 3$). Ce fort contraste de permittivité permet d'assurer un décalage en fréquence significatif. La permittivité complexe de l'eau varie fortement avec la fréquence, aussi les pertes deviennent très importantes pour les fréquences au-delà de 20 GHz [8]. Pour les simulations, nous avons utilisé de l'eau désionisée en considérant la valeur maximale et fixe de la permittivité et des pertes correspondantes à un $\tan\delta = 0.1$. La dispersion en fréquence de l'eau n'est donc pas prise en compte dans cette étude.

Lorsqu'on remplit le canal de liquide (eau désionisée), on modifie localement les propriétés diélectriques du milieu. Ce contraste de permittivité rallonge la longueur électrique du stub et provoque ainsi un décalage de la fréquence de résonance (Fig.1b) entre 30 GHz pour le canal vide et 24 GHz pour le canal rempli d'eau désionisée, ce qui correspond à un décalage de 20%.

2.b. Stub passe-bande $\lambda_g/2$

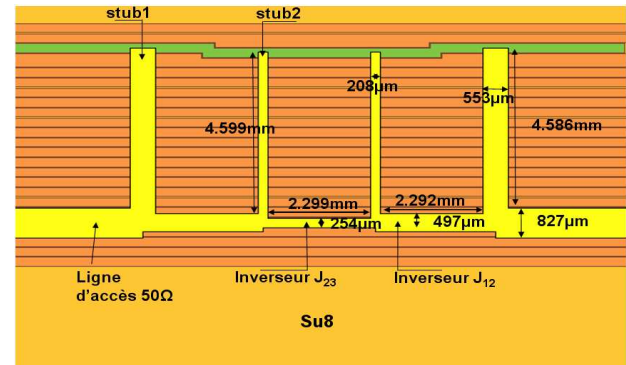
Il s'agit cette fois d'un stub demi-onde à la fréquence de résonance, réalisé suivant le même principe. Comme dans le cas précédent, on observe un décalage de la fréquence de résonance d'environ 10%. Ce faible décalage est dû au caractère large bande du stub.

L'accordabilité peut alors être améliorée en augmentant la largeur du canal.

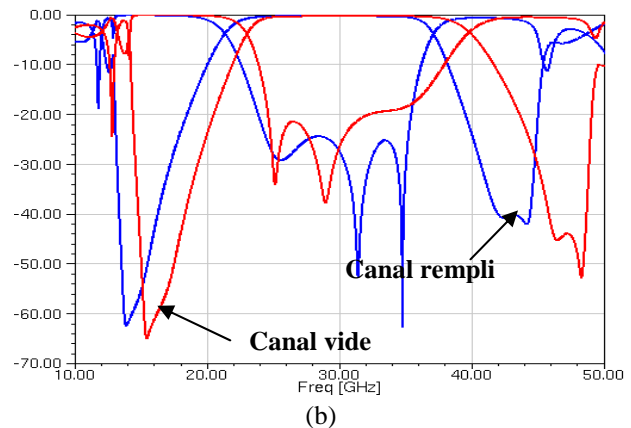
3. Filtres passe bande accordables

3.a. Filtre à stub d'ordre 4 (large bande)

Le filtre proposé ici est constitué de quatre stubs demi-onde séparés par des inverseurs quart d'onde (Fig.4a) et pour une fréquence centrale de fonctionnement de 30 GHz. Pour ce filtre, nous avons placé un seul canal microfluidique qui passe sous les extrémités de tous les stubs.



(a)



(b)

Figure 4. Filtre à stub d'ordre 4 et réponses pour les cas canal vide et rempli

La figure 4b présente les résultats de simulation dans les deux cas canal vide et rempli d'eau désionisée. Lorsque le canal est rempli, on note un décalage en fréquence d'environ 6% avec un faible niveau de pertes d'insertion. Le faible décalage en fréquence centrale est dû au caractère large bande des résonateurs qui composent le filtre.

4. Réalisation et résultats expérimentaux

Dans cette partie, nous présentons les premiers résultats expérimentaux de l'accordabilité microfluidique en hyperfréquence à base de Su8.

Les étapes de fabrication de ces dispositifs sont : une métallisation pleine plaque pour réaliser le plan de masse puis la structuration du substrat Su8 en dentelle et une métallisation sélective sur la partie supérieure pour réaliser les lignes.

4.a. Substrat Su8 en dentelle

La fabrication du substrat en dentelle commence par un dépôt de 10 μm de Su8. Cette couche permet d'isoler le plan de masse des fluides qui circuleront dans le canal. Sur cette couche on structure la Su8 pour réaliser les murs de la dentelle sur 150 μm de haut. Puis vient l'étape du capotage, pour ce faire, on utilise la technique développée par Abgrall *et al.*[9], figure 5.

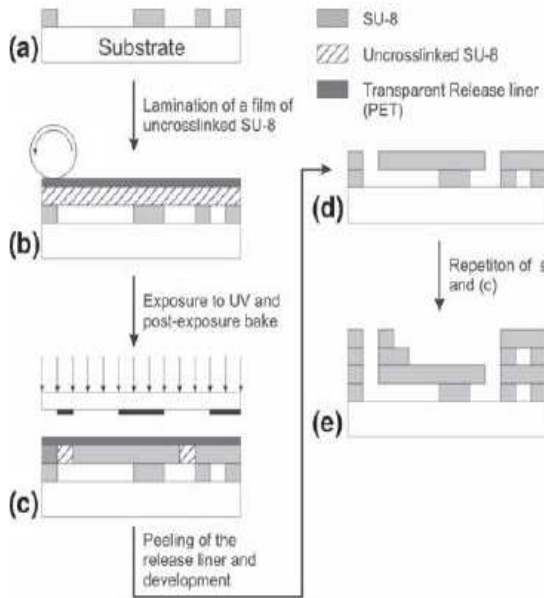


Figure 5. Technique de lamination pour réaliser des canaux microfluidiques

Cette technique s'appuie sur le laminage. Sur un wafer on lamine un film de PET sur lequel on vient déposer 20 μm de résine, on lui fait subir un premier recuit pour qu'elle se solidifie. Puis nous décollons le film PET, sur lequel est enduite la résine, et nous venons le reporter par laminage à chaud sur le wafer où il y a les murs à capoter. Et seulement ensuite nous insolons pour ouvrir les zones désirées. Cette méthode donne de très bons profils comme on peut le voir sur la figure 6.

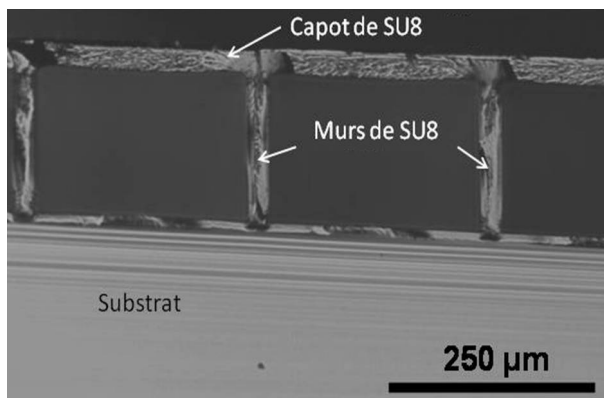


Figure 6. Vue en coupe du substrat en dentelle réalisée

Pour remplir les canaux il existe plusieurs méthodes de circulation de fluides dans des micro-canaux. Parmi toutes les méthodes pour déplacer un fluide, nous considérons celle qui semble la plus utilisée à savoir l'application d'un gradient de pression [10]. Le dispositif

utilisé est le pousse-seringue. Il permet de contrôler les flux en jouant sur le piston d'une seringue connectée aux canaux par des tubes flexibles.

4.b. Réalisation et métallisation des lignes

Pour réaliser un dépôt métallique sélectif il existe deux options : le Lift-Off et la gravure chimique. A priori les deux méthodes sont possibles, mais dans notre cas une contrainte supplémentaire nous oblige à privilégier l'une d'elle à savoir la gravure chimique.

En effet nous réalisons des filtres en micro-ruban, mais pour des soucis de facilité et de simplicité, il est préférable de les caractériser à l'aide d'une station sous pointes coplanaires. Il est donc nécessaire de concevoir une zone de transition microruban – coplanaire, et de relier le plan de masse du premier aux deux masses du second. Pour cela nous avons réalisé des vias : des cavités de 300 μm de côté sur toute la hauteur de la SU8 (180 μm).

Pour métalliser le flan de ces trous nous devons opter pour de la pulvérisation cathodique, qui à la différence de l'évaporation n'est pas directionnelle. Or pour la réalisation d'un Lift-Off il ne faut pas recouvrir les flans de la résine, sous peine de rendre impossible sa dissolution.

Nous effectuons donc une pulvérisation d'aluminium sur 1 μm , que nous devons protéger par une résine pour la gravure. Un dépôt de résine par tournette n'est pas envisageable car cela ne permet pas de recouvrir les flans. Dans notre cas il est préférable d'utiliser un spray puisqu'il permet d'obtenir des dépôts conformes, et ainsi protéger les vias.

4.c. Stub coupe-bande $\lambda_g/4$

La figure 6 présente les premiers résultats de mesures sur le stub quart d'onde de la figure 1a. Ces résultats sont cohérents avec les simulations électromagnétiques mais un décalage de fréquence de 5 GHz est observé. Ce décalage serait dû à la permittivité équivalente réelle de la structure en dentelle qui est différente de celle théoriquement calculée par la formule (1).

Cependant, on retrouve bien l'accordabilité en fréquence d'environ 20% comme obtenu en simulation entre la mesure à vide et avec un canal rempli d'eau désionisée.

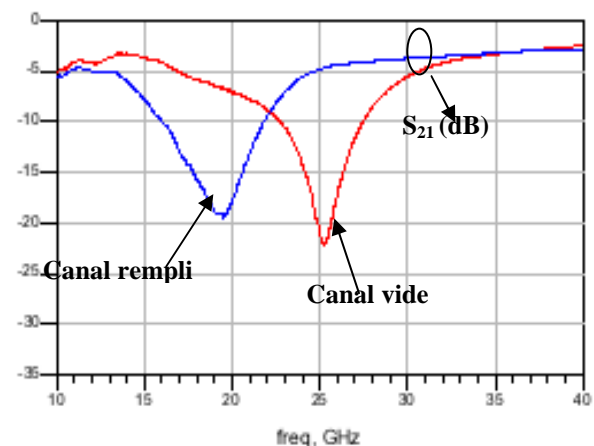


Figure 6. Résultats de mesure du Stub quart d'onde

L'important niveau de pertes mesuré a probablement deux origines : la première concerne la dispersion

technologique lors des étapes de la réalisation. La deuxième est sans doute liée aux mesures. En effet, les mesures sont effectuées sous pointes coplanaires, il faut donc faire remonter la masse du microruban vers la face supérieure du substrat par une transition microruban-CPW, cette remontée est effectuée grâce à des vias. Sur les structures mesurées, cela n'a pas posé de problème. En revanche, le kit de calibration TRL utilisé présentait des défauts sur ces reports de masse, ce qui les a rendus inutilisables. Nous avons donc procédé à une calibration SOLT dans le plan des pointes coplanaires pour cette mesure. Tous ces défauts seront corrigés lors des prochaines réalisations

4.d. Stub passe-bande $\lambda_g/2$ et Filtre passe-bande accordable

Les résultats de mesure du stub $\lambda_g/2$ et du filtre passe-bande ne sont pas présentés dans ce papier. En effet, les circuits sont en cours de réalisation.

5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce papier les premiers résultats des dispositifs passifs accordables en microfluidique réalisés sur la Su8. Les résultats de mesure et de simulation sont en bon accord malgré des pertes importantes et montrent une bonne dynamique d'agilité, on obtient ainsi un décalage en fréquence centrale d'environ 20% sur le résonateur quart d'onde grâce à l'introduction de l'eau désionisée. Les autres structures présentées sont en cours de réalisation et leurs mesures seront présentées lors de la conférence.

6. Bibliographie.

- [1] E. Fourn, A. Pothier, C. Champeaux, P. Tristant, A. Catherinot, P. Blondy, G. Tanné, E. Rius, C. Person, and F. Huret, "MEMS switchable interdigital coplanar filter," IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. 51, pp. 320–324, January 2003.
- [2] C. L. Goldsmith, A. Malczewski, Z. J. Yao, S. Chen, J. Ehmke, and D. H. Hinzl, "RF MEMS variable capacitors for tunable filters," John Wiley & Sons, Inc, pp. 362–374, 1999.
- [3] K. Entesari and G. M. Rebeiz, "A 12 18-ghz three-pole RF MEMS tunable filter," IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. 53, pp. 2566–2571, August 2005.
- [4] F. Mahe, G. Tanne, E. Rius, C. Person, S. Toutain, F. Biron, L. Billonnet, B. Jarry, and P. Guillon, "Electronically switchable dual-band microstrip interdigital bandpass filter for multistandard communication applications," 30th European Microwave Conference, pp. 1–4, 2000.
- [5] B. Kapilevich, "A varactor-tunable filter with constant bandwidth and loss compensation," Microwave Journal & Horizon House Publications, vol. 50, pp. 106–114, April 2007.
- [6] B.-W. Kim and S.-W. Yun, "Varactor-tuned combline bandpass filter using step-impedance microstrip lines" IEEE Transactions On Microwave

Theory And Techniques, vol. 52, pp. 1279–1283, April 2004.

- [7] Anand K. Verma and Zargham Rostamy. "Static capacitance of some multilayered microstrip capacitors". IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. 43, pp. 1144 -1152, May 1995.
- [8] W. J. Ellison, K. Lamkaouchi, J. M. Moreau "Water: A dielectric reference" Journal of Moléculaire Liquide. vol. 68, pp. 171-279, 1996.
- [9] P. Abgrall, S. Charlot, R. Fulcrand, L. Paul, A. Boukabache, et A. Gué, "Low-stress fabrication of 3D polymer free standing structures using lamination of photosensitive films," Microsystem Technologies, vol. 14, n°. 8, pp. 1205-1214, 2008.
- [10] Lanning L M, Ford R M and Long T "Bacterial chemotaxis transverse to axial flow in a microfluidic channel" Biotechnology and Bioengineering 100, pp.653-663, 2008.